Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 415-425

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۴۲۵-۴۱۵

تاثیر تنش خشکی انتهای فصل بر عملکرد دانه و صفات مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های *Aegilops triuncialis*

زهرا تقی‌پور[۱*]، رسول اصغری‌زکریا[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

به‌منظور مطالعه اثر تنش خشکی در شرایط آبیاری کامل و تنش رطوبتی انتهای فصل (قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم و قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله) روی صفات مختلف هشت اکوتیپ *Aegilops triuncialis* و تعیین صفات موثر بر عملکرد دانه، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش رطوبتی موجب کاهش مقادیر کلیه صفات مورد ارزیابی مخصوصاً عملکرد دانه به میزان ۸۹٪ نسبت به شاهد شد. شرایط تنش رطوبتی با آسیب بر دستگاه فتوسنتزی باعث کاهش کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II و شاخص کلروفیل گردید. میزان هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش در مرحله تورم سنبله ۴۶ درصد و در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله ۵۵ درصد کاهش یافته و همچنین موجب کاهش۲۶ درصدی محتوی نسبی آب برگ نسبت به شرایط نرمال گردید. اگرچه اعمال تنش رطوبتی در این آزمایش باعث کاهش عملکرد دانه در اکوتیپ‌ها نسبت به شرایط بدون تنش شد ولی بعضی از اکوتیپ‌ها مانند هشترود، هوراند و ماکو شرایط تنش را تحمل نموده و کاهش عملکرد کمتری نسبت به سایرین نشان دادند. اکوتیپ‌های هشترود، مرند، هوراند، البرز و مشکین توانستند در زمان خشکی، با افزایش طول ریشه رطوبت مورد نیاز را از اعماق خاک فراهم کنند.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

خشکسالی و تنش ناشی از آن مهمترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که هر ساله خسارت‌های هنگفتی به محصولات زراعی در جهان به‌خصوص ایران که به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد، وارد می‌نماید (Sabagh pour, 2003). امروزه برنامه‌های اصلاحی تحمل به خشکی و ایجاد ارقام متحمل برای رسیدن به عملکرد مطلوب در محیط‌های خشک، مرتبط با شناسایی صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی و شناسایی ژن‌های درگیر و انتقال آن‌ها به ارقام زراعی استوار است (Liu *et al.*, 2006). گاتوم و همکاران (Gautam *et al.*, 2011)، بیان داشتند که تنوع ژنتیکی برای تحمل به خشکی در میان گونه‌های *Aegilops* وجود دارد، که می‌توان این تنوع را برای بهبود تحمل به خشکی در گندم در مراحل مختلف تولید مثل و رشد محصول مورد استفاده قرار داد. گونه‌های *Aegilops* از خویشاوندان وحشی گندم و تأمین‌کننده دو ژنوم از سه ژنوم گندم نان بوده و منبع ژنتیکی مهمی برای افزایش پتانسیل ژنتیکی گندم برای مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده محسوب می‌شوند (Gill *et al.*, 2006). گونه (*Aegilops triuncialis*) تتراپلوئید (۲n=۴X=۲۸) با فرمول ژنومی UUCC است که از تلاقی بین گونه‌های (*Aegilops umbellulata*) با فرمول ژنومی UU و (*Aegilops caudata*) با فرمول ژنومی CC به‌وجود آمده است (Wang *et al.*, 1997). این گونه در بین گونه‌های مختلف آژیلوپس بیشترین پراکنش را در جهان دارد و تا ارتفاع ۲۷۰۰ متری از سطح دریا یافت می‌شود. به علت پلی‌پلوئیدی بودن، سازگاری این گونه به شرایط محیطی بیشتر است (Van Slageren, 1994).

در ارزیابی ژرم‌پلاسم Titicum aestivum از نظر تحمل به تنش‌های محیطی، هم در بین گونه‌ها و هم در درون گونه‌های وحشی تنوع ژنتیکی بالایی از لحاظ صفات مرتبط با عملکرد گزارش شده است. بالباکی و همکاران (Baalbaki *et al.*, 2006)، ۲۱ جمعیت از ۶ جنس آژیلوپس شامل: (*Ae. Biuncialis*)، (*Ae. cylindrica*)، (*Ae. geniculata*)، (*Ae. markgrafi*)، (*Ae. triuncialis*) و (*Ae. vavilovii*) را برای مطالعه تنوع صفات کمی از این جنس‌ها وقتی در معرض سطوح متفاوتی از تنش رطوبتی هستند و شناخت صفات کیفی که می‌توان در ژرم‌پلاسم آژیلوپس برای اهداف اصلاحی استفاده کرد را بررسی کردند. با افزایش شدت تنش خشکی وزن خشک همه گونه‌ها کاهش یافت اما تمام آنها پاسخ

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
(*- نویسنده مسئول: Email: ztaghipour22@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i3.70592

یکسانی به تنش رطوبتی برای ارتفاع بوته نداشتند، ارتفاع بوته‌های (*Ae. markgrafii*)، *Ae. geniculata* و *Ae .triuncialis* پاسخی به تنش رطوبتی نشان ندادند ولی ارتفاع بوته‌های *Ae. biuncialis*، *Ae. cylindrica* و *Ae. vavilovii* تحت تنش رطوبتی کاهش یافت. در یک ارزیابی وسیع از خویشاوندان وحشی که در مورد قدرت زیست آنها در شرایط خشکی توسط دامانیا و همکاران (Damania *et al.*, 1992) انجام گرفت، بیان شد که گونه‌های (*Ae. tauschii*)، *Ae. umbellulata*، (*Ae. columnaris*)، (*Ae. peregrina*) و *Ae. triuncialis* مقاوم به خشکی هستند. با توجه به شواهد فوق، درک صفات مورفوفیزلوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی برای فهم بیشتر مکانسیم‌های مقاومت به خشکی در غلات و دستیابی به منابع ژنتیکی آن برای برنامه‌های اصلاحی ضروری است. بنابراین، تولید ارقام مقاوم به خشکی یا ارقامی که نیاز کمتری به آبیاری داشته باشند و نیز شناخت عواملی که باعث القای مقاومت به خشکی در گیاه شود، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با توجه به گزارش‌های کمی که در رابطه بررسی تحمل تنش خشکی در گونه‌های آژیلوپس وجود دارد (Flexas and Medrano, 2002; Molnar *et al.*, 2004; Baalbaki *et al.*, 2006; Paknejad *et al.*, 2007) این آزمایش با توجه به اهداف ذیل اجرا گردید:

الف) شناسایی اکوتیپ‌های متحمل آژیلوپس با دوره طولانی خشکسالی قبل از مرحله گرده‌افشانی. ب) شناسایی صفات فیزیولوژیکی، رشد، عملکرد و اجزای عملکرد وابسته به تحمل.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات ناشی از تنش خشکی و مطالعه صفات مرتبط با تحمل هشت اکوتیپ مختلف از *triuncialis Aegilops* (اکوتیپ‌های ماکو، مرند، هشترود، نمین، هوراند، کرج، مشکین و اهر) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۰ انجام شد. به‌منظور اجرای آزمایش گلخانه‌ای از گلدان‌های پلاستیکی به‌ترتیب با طول، عرض و ارتفاع ۴۰، ۳۰ و ۱۰ سانتی‌متر استفاده گردید. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها دارای بافت لوم رسی شنی بود. قبل از کشت بذرهای مرطوب شده به مدت ۲۰ روز در دمای ۲-۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا عمل ورنالیزاسیون در آن‌ها صورت گیرد. بعد از جوانه‌زنی بذور، گیاهچه‌های یکنواخت به داخل گلدان‌های پلاستیکی منتقل شدند. تنظیمات گلخانه شامل رطوبت نسبی ۴۰ درصد، دمای دوره روشنایی ۳ ± ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای دوره تاریکی ۳ ± ۱۶ درجه سانتی‌گراد و طول روز و شب به‌ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت بود. آزمایش با ۳ تکرار به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری از مرحله تورم غلاف برگ پرچم تا انتهای رشد (T_1) (مرحله رشدی ۴۵ زادوکس) و قطع آبیاری از مرحله ظهور ۵۰٪ سنبله‌ها تا انتهای فصل رشد (T_2) (مرحله رشدی ۵۵ زادوکس) به‌عنوان سطوح تنش رطوبتی در نظر گرفته شد. صفات مورفولوژیک مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته (cm)، وزن خشک بوته (g)، طول پدانکل (cm)، طول سنبله (cm)، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله (g)، وزن صد دانه (g)، وزن خشک سنبله (g)، طول ریشه و حجم ریشه بودند. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD-502 انجام گردید. بدین منظور قسمت میانی پهنک برگ پرچم در بین گیره دستگاه قرار گرفت و با فشار دادن گیره، شاخص کلروفیل بر حسب واحد اسپاد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل از دستگاه OSI 30 (کمپانی ADC Bioscietific) استفاده شد. تمام اندازه‌گیری‌ها در ساعات ۱۰ تا ۱۳ به‌منظور به حداقل رساندن تغییرات روزانه انجام شد. در ابتدا گیره‌های مخصوص پس از اطمینان از بسته بودن دریچه‌های آنها بر روی برگ‌ها، به طوری که از رگبرگ اصلی فاصله داشته باشند، نصب شدند. برگ‌ها به مدت ۱۵دقیقه برای توقف واکنش روشنایی فتوسنتز در تاریکی قرار گرفتند. پس از سپری شدن این مدت گیره‌ها به فیبر نوری دستگاه متصل شدند و دریچه گیره‌ها باز شدند و پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_V/F_M) یادداشت گردید. هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل Leaf Porometer SC-1، که با قرار دادن برگ پرچم در داخل سنسور دستگاه، اعداد مربوط به میزان مقاومت روزنه بر حسب $mmol^2/m^2s$ قرائت شد. دو هفته پس از اعمال تنش، برای اندازه‌گیری RWC، چند برگ از قسمت‌های بالایی بوته انتخاب و سریعاً به آزمایشگاه منتقل گردید. ابتدا وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. سپس به منظور تعیین وزن تورژسانس به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق، در داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به منظور تعیین وزن خشک به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و RWC از طریق رابطه زیر به‌دست آمد (Schlemmer *et al.*, 2005):

RWC =(وزن خشک- وزن تر)/(وزن خشک- وزن تورژسانس)×۱۰۰

برای محاسبه درصد تغییرات صفات در اثر کم آبی از رابطه زیر استفاده شده است (Safaee chaeekar *et al.*, 2008):

درصد تغییر صفت={(میانگین صفت – میانگین صفت در شرایط بدون تنش)/در شرایط تنش میانگین صفت در شرایط بدون تنش}×۱۰۰

مثبت بودن درصد تغییر صفت به معنی افت میزان آن صفت و منفی بودن آن به منزله افزایش آن صفت در محیط‌های تنش خواهد بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل برش‌دهی انجام شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون Lsmeans در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر تیمار تنش رطوبتی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین بین سطوح تنش رطوبتی (جدول ۲) نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش عملکرد دانه گردید و بیشترین عملکرد دانه از تیمار شاهد به‌دست آمد. تیمارهای T_1 و T_2 (به‌ترتیب قطع آبیاری از مرحله تورم غلاف برگ پرچم و قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ ظهور سنبله تا انتهای فصل رشد) کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. قطع آبیاری در مرحله تورم سنبله (T_1)، حدود ۸۹٪ عملکرد را نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۴). تنش خشکی دوره پر شدن دانه را در غلات کاهش می‌دهد که نتیجه این پیامد چروکیدگی دانه، کاهش وزن و در نتیجه کاهش عملکرد می‌باشد. خشکسالی قبل از گرده‌افشانی منجر به کاهش عملکرد دانه به‌وسیله اثر منفی بر فعالیت‌های فتوسنتزی به صورت کاهش تجمع ذخایر ساقه (کربوهیدرات‌های محلول در آب) می‌شود (Gautam *et al.*, 2011). بین اکوتیپ‌های مورد آزمایش اختلاف معنی‌دار در سطح احنمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۱). در بین اکوتیپ‌های مورد آزمایش، اکوتیپ هشترود بیشترین عملکرد دانه و اکوتیپ نمین کمترین عملکرد دانه را دارا بودند و اکوتیپ‌های اهر، مشکین، مرند، هوراند و البرز بدون اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲). بالباکی و همکاران (Baalbaki *et al.*, 2006)، ۲۱ جمعیت از شش جنس آژیلوپس را در سطوح مختلفی از تنش رطوبتی بررسی و بیان داشتند که وزن بذرهای *Ae. biuncialis*، *Ae. cylindrica*، *Ae. geniculata* و *Ae. vavilovii* با افزایش تنش رطوبتی کاهش یافت، و عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت با ظرفیت تولید پنجه، تعداد بذر، وزن بذرهای سنبله و تعداد کل پنجه تحت همه سطوح تنش بود.

وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن صد دانه دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر تنش رطوبتی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین وزن صد دانه را تیمار شاهد دارا بود و کمترین آن برای تیمار T_1 به‌دست آمد (جدول ۲) و ۸۴٪ کاهش میانگین را نسبت به تیمار T_2 دارا بود (جدول ۴). در واقع تحت شرایط تنش وزن صد دانه کاهش چشمگیر داشته است. خشکسالی در طول مرحله قبل و بعد از گرده‌افشانی باعث کاهش عملکرد دانه همراه با کاهش وزن دانه است (Ahmadi and Baker, 2001; Ji *et al.*, 2010). مطابق با جدول تجزیه واریانس بین اکوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد دانه وجود داشت (جدول ۱). اکوتیپ هشترود دارای بیشترین وزن صد دانه (۲/۱۷) و اکوتیپ‌های هوراند، البرز و مشکین بعد از آن بدون اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر در یک گروه قرار گرفتند و اکوتیپ نمین کمترین وزن صد دانه را تحت شرایط تنش دارا بود (جدول ۲). علت کاهش وزن صد دانه را چنین می‌توان توجیه کرد که قبل از اعمال تنش گیاه تعداد مخازن بیشتری (دانه) تولید می‌کند و با اعمال شرایط تنش که تا انتهای دوره‌ی رشد ادامه دارد و با نزدیک شدن گیاه به انتهای دوره‌ی رشد شرایط تنش شدیدتر شده است، بنابراین آب کافی برای پر شدن دانه‌ها وجود نداشته و با بروز تنش نتوانستند این مخازن را به خوبی پر کنند در نتیجه وزن دانه‌ها به شدت کاهش یافته است (Ji *et al.*, 2010).

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین سطوح مختلف تنش رطوبتی و بین اکوتیپ‌ها و همچنین اثر متقابل آنها برای تعداد دانه در سنبله اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱) که نشان‌دهنده رفتار متفاوت اکوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد. تعداد دانه در سنبله یکی از مهمترین اجزای عملکرد در غلات می‌باشد (Riaz and Chowdhry, 2003). تیمار تنش رطوبتی با تاثیر بر تعداد دانه در سنبله موجب ۷۸ درصد کاهش در مقدار آن شد (جدول ۴). کاهش رطوبت در مراحل بحرانی رشد از جمله مرحله گرده‌افشانی (لقاح) و حساسیت دانه‌های گرده به کمبود رطوبت منجر به کاهش تعداد دانه تولیدی در سنبله گردید. با توجه به جدول ۳ بیشترین تعداد دانه در سنبله در شرایط بدون تنش مشاهده شد و اکوتیپ‌های مشکین، مرند، هشترود و کرج از بیشترین تعداد دانه در سنبله برخوردار بودند. در تیمار T_1 بیشترین تعداد دانه در سنبله را اکوتیپ‌های مشکین و هشترود داشتند و اکوتیپ هوراند نیز بدون اختلاف معنی‌دار با آن دو بود. در تیمار T_2، بیشترین تعداد دانه در سنبله برای اکوتیپ‌های هشترود و هوراند بود. به‌طور کلی تیمار T_1 بیشترین تاثیر را روی میزان این صفت داشت و کمترین تعداد دانه در سنبله برای اکوتیپ‌های نمین و کرج به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطلب است که واکنش متفاوت اکوتیپ‌ها از نظر تعداد دانه در سنبله نشان‌دهنده حساسیت یا مقاومت متفاوت اکوتیپ‌ها به تنش خشکی می‌باشد و اکوتیپ‌های هشترود و هوراند نسبت به سایر اکوتیپ‌ها متحمل به تنش بودند.

به‌طور کلی تیمار T_1 بیشترین تاثیر را بر کاهش این صفت داشت و کمترین تعداد دانه در سنبله برای اکوتیپ‌های نمین و البرز به‌دست آمد.

نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطلب است که واکنش متفاوت اکوتیپ‌ها از نظر تعداد دانه در سنبله نشان‌دهنده حساسیت یا مقاومت متفاوت آنها به تنش خشکی می‌باشد و اکوتیپ‌های هشترود و هوراند نسبت به بقیه گونه‌ها متحمل به تنش بودند.

تنش رطوبتی باعث کاهش صد درصدی تعداد دانه در سنبله در مقایسه با شاهد در (*Ae. searsii*) و ۶۹٪ در (*Ae. longissima*) شد (Gautam *et al.*, 2011). اعمال تنش رطوبتی در مرحله گلدهی موجب عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها می‌گردد که می‌تواند دلیلی بر کاهش تعداد دانه در ارقام باشد (Royo *et al.*, 2006).

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که بین اکوتیپ‌های مختلف و سطوح تنش رطوبتی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد برای طول سنبله وجود داشت. تحت تیمار تنش رطوبتی طول سنبله در مقایسه با شاهد کاهش یافته (جدول ۲) و تاثیر تیمار T_1 بر آن شدیدتر (۲۳/۴) بود (جدول ۴). به دلیل اینکه مواد غذایی به‌صورت محلول در آب جذب گیاه می‌شوند، بنابراین محدودیت در منابع آبی منجر به محدودیت در کلیه منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زود هنگام مرحله رویشی و شروع مرحله زایشی می‌گردد. در نتیجه، دوره‌ی رشدی، ارتفاع، طول پدانکل، طول سنبله اصلی و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد (Mitra, 2001). بیشترین طول سنبله را اکوتیپ مشکین و هشترود دارا بودند و سایر اکوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند و از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲). کاهش عملکرد دانه در اثر تیمار تنش رطوبتی را می‌توان به کاهش طول سنبله و وزن دانه در سنبله نسبت داد. نتایج این تحقیق با نتایج گودینگ و همکاران (Gooding *et al.*, 2003) و پیری و همکاران (Pierre, 2008) در گندم مطابقت دارد.

وزن خشک سنبله

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که بین اکوتیپ‌های مختلف و همچنین بین سطوح تنش رطوبتی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آنها در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار بود. اعمال تیمار تنش رطوبتی موجب کاهش وزن خشک سنبله نیز گردید که همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده وزن خشک سنبله برای اکوتیپ‌های اهر، هشترود و هوراند در هر دو سطح تنش رطوبتی بدون اختلاف معنی‌دار بودند و با اکوتیپ مرند در تیمار T_1 و با مشکین، ماکو و البرز در تیمار T_2 اختلاف معنی‌دار نداشتند. اکوتیپ نمین در هر دو سطح تنش خشکی کمترین وزن خشک سنبله را داشت ولی تاثیر تنش خشکی بر روی آن در مرحله تورم سنبله بیشتر بود و با اکوتیپ‌های ماکو و البرز اختلاف آماری معنی‌دار نداشت. تیمار T_1 موجب کاهش ۷۴٪ وزن خشک سنبله گردید (جدول ۴).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

Table 1- Analysis of variance of measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean Square														
		طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک بوته Plant dry weight	وزن خشک سنبله Dry weight per spike	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	ارتفاع بوته Plant height	طول پدانکل Peduncle length	طول سنبله Spike length	عملکرد دانه Grain yield	وزن صد دانه grain 100 weight	پتانسیل عملکرد کوانتوم Fv/Fm	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوی آب نسبی RWC
اکوتیپ Ecotype	7	55.93*	0.957**	0.059**	0.449**	0.028**	7.690*	399.369**	54.731**	0.508**	0.007**	0.152**	0.012**	83.15**	358.25**	498.349**
تنش Stress	2	354.132**	0.690**	0.027*	4.366**	0.0327**	214.135**	698.074**	204.667**	10.217**	0.214**	1.338**	0.026**	797.12**	6674.69**	1856.613**
اکوتیپ*تنش Ecotype* Stress	14	17.298ns	0.126ns	0.013ns	0.117**	0.015*	2.151**	26.910ns	4.481ns	0.281ns	0.002ns	0.019ns	0.004**	52.78**	157.91**	108.155**
اشتباه آزمایشی Error	48	23.81	0.102	0.008	0.036	0.007	0.698	14.998	5.093	0.193	0.02	0.010	0.0007	2.26	8.333	3.823
ضریب تغییرات (CV%)		18.8	24.2	10.3	13.0	23.5	20.1	9.7	19.3	8.95	26.4	10.1	3.5	3.0	7.6	3.2

جدول ۲- مقایسه میانگین بین سطوح مختلف تنش رطوبتی و اکوتیپ‌های مختلف *Ae. triuncialis* از نظر صفات مورفوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در شرایط تنش خشکی

Table 2- Comparison of means between stress levels and different ecotypes of *Ae. triuncialis*, under drought stress

اکوتیپ Ecotypes	عملکرد دانه Grain yield (g)	ارتفاع بوته Plant length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	وزن صد دانه grain 100 weight (g)	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (cm^3)
اهر Ahar	0.15bc	36.77c	10.30cd	4.75b	0.39cd	24.24abc	1.45b
مشکین Meshkin	0.16bc	42.34b	13.92ab	5.43a	0.66bc	27.86abc	0.6b
ماکو Maku	0.18b	42.95b	12.38abc	4.68b	0.70b	22.66c	0.57b
مرند Marand	0.16bc	30.27d	8.52de	4.85b	0.46bcd	26.29abc	2.92a
هشترود Hashtrood	0.22a	40.55b	12.11bc	5.41a	2.17a	29.41a	1.06b
نمین Namin	0.13c	32.55d	8.05e	4.61b	0.20d	22.93bc	0.68b
هوراند Horand	0.16bc	51.13a	14.53a	4.94b	0.63bc	26.32abc	3.18a
کرج Karaj	0.15bc	43.46b	13.61ab	5b	0.52bc	28.14ab	1.13b
شاهد Normal	0.27a	44.41a	14.59a	5.49a	1.16a	22.85b	1.97a
T_1	0.087c	33.99c	8.75c	4.20c	0.18c	30.27a	0.95b
T_2	0.14b	41.61b	11.69b	5.02b	0.42b	24.83b	1.43ab

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌داری هستند.

Means with the same letter in each column and each factor are not significantly different in 5% probability.

ارتفاع بوته و طول پدانکل

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر اکوتیپ و سطوح تنش رطوبتی در سطح احتمال یک درصد برای ارتفاع بوته و طول پدانکل معنی‌دار گردید ولی اثر متقابل اکوتیپ × تنش غیر معنی‌دار بود. مقایسه میانگین سطوح تنش رطوبتی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد مشاهده و تنش رطوبتی کاهش ارتفاع بوته‌ها را موجب شده است. اعمال تیمار T_1 و T_2 به‌ترتیب باعث کاهش ۲۳٪ و ۶/۳٪ ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۴). در نتایج جدول مقایسه میانگین، بیشترین و کمترین طول پدانکل به‌ترتیب در شاهد و تیمار T_1 مشاهده گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین بین اکوتیپ‌ها نشان داد که اکوتیپ هوراند دارای بیشترین و اکوتیپ نمین و مرند کمترین ارتفاع بوته را دارا بودند (جدول ۲). تاثیر تنش خشکی بر کاهش طول پدانکل در تیمار T_1، ۴۰ درصد و حدود ۲۰ درصد در تیمار T_2 برآورد گردید (جدول ۴). در مراحل رشدی با اعمال تیمار تنش خشکی چون گیاه هنوز رشد رویشی دارد امکان کاهش طول پدانکل وجود دارد. با ملاحظه‌ی مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها (جدول ۲)، اکوتیپ هوراند بیشترین طول پدانکل و اکوتیپ نمین کمترین طول پدانکل را داشتند.

وزن خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین اکوتیپ‌ها، بین سطوح تنش رطوبتی و همچنین اثر متقابل اکوتیپ×تنش اختلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به جدول ۳ از نظر وزن خشک بوته اکوتیپ اهر در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار وزن خشک بوته را داشت و با اکوتیپ‌های ماکو، مرند و هشترود بدون اختلاف معنی‌دار بود. همچنین در تیمار T_1 و T_2 بیشترین میزان وزن خشک بوته برای اکوتیپ اهر به‌دست آمد که در تیمار T_2 با اکوتیپ البرز در یک گروه قرار گرفتند. کمترین میزان وزن خشک بوته در تیمار T_1 برای اکوتیپ مشکین بود و بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ ماکو، مرند و هوراند در یک گروه قرار گرفتند. به‌طور کلی تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک بوته نسبت به شاهد شد که این کاهش در تیمار T_1 (۶۷٪) بیشتر از تیمار T_2 (۴۵٪) بود (جدول ۴).

سیستم ریشه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، بین اکوتیپ‌ها در سطح احتمال پنج درصد برای طول ریشه و یک درصد برای حجم ریشه و وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین اختلاف بین سطوح تنش رطوبتی برای طول ریشه و حجم ریشه در سطح معنی‌داری یک درصد و وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد وجود داشت.

بین تیمار شاهد و تیمار T_2 اختلاف معنی‌داری از نظر طول و حجم ریشه نبود و بیشترین طول و کمترین حجم ریشه در شرایط تنش نسبت به مشاهده شد (جدول ۲). صفت طول ریشه در شرایط تنش در مرحله تورم سنبله (تیمار T_1) مقدار بالاتری نسبت به شرایط شاهد داشت. سیستم مطلوب ریشه، موجب جذب آب بیشتر و تولید اندام هوایی بیشتر می‌شود. افزایش رشد ریشه موجب افزایش توانایی استخراج رطوبت خاک شده و به‌عنوان یک مکانیزم اساسی مقاومت به خشکی عمل می‌کند (Wade *et al.*, 2000). واریته‌هایی که بتوانند در شرایط کمبود رطوبت در خاک طول ریشه خود را افزایش دهند، نشان می‌دهند که این واریته‌ها به دو دلیل می‌توانند در برابر

خشکی مقاوم باشند. اول این که افزایش طول ریشه نشان می‌دهد که گیاه دارای قدرت بالا در جذب آب بوده و توانسته است زنده بماند، دوم این که نشان می‌دهد که گیاه با افزایش طول ریشه در شرایط کمبود رطوبت، دامنه فعالیت ریشه برای جذب آب را بالا می‌برد تا بتواند با خشکی احتمالی مقابله کند (Moaveni and Pazoki, 2010). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها (جدول ۲) در صفات بالا نشان داد که بیشترین مقدار طول ریشه در اکوتیپ ماکو مشاهده شد که با اکوتیپ‌های هشترود و نمین اختلاف آماری معنی‌دار داشت ولی اختلاف آن با سایر اکوتیپ‌ها معنی‌دار نبود. بیشترین حجم ریشه را اکوتیپ‌های مرند و هوراند و وزن خشک ریشه را اکوتیپ‌های اهر و مرند داشتند و سایر اکوتیپ‌ها با یک‌دیگر اختلاف آماری معنی‌دار نداشتند و در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲).

جدول ۳- مقایسات میانگین اثر متقابل جمعیت و تنش خشکی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در *Ae. Triuncialis*

Table 3- Mean comparison of interaction between ecotypes and drought stress on parameters of *Ae. Triuncialis*

سطوح آبیاری Irrigation level	اکوتیپ Ecotypes	پتانسل عملکرد کوانتوم F_V/F_M (m s^{-1})	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)	وزن خشک سنبله Dry weight per spike (g)	شاخص کلروفیل (اسپد) Chlorophyll index	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mmol m^{-2}s^{-1})	محتوی آب نسبی RWC (%)
شاهد Normal	اهر Ahar	0.803a	6.66ab	4.96a	0.173bc	54.9cd	44.88d	81.65b
	مشگین Meshkin	0.786ab	7.66a	3.47bcd	0.127bc	46.94ijkl	52.10c	54.87ij
	ماکو Maku	0.790a	6.56ab	4.07abc	0.398a	53.66de	79.47a	79.41bc
	مرند Marand	0.8000a	8.00a	4.64ab	0.173bc	61.1b	52.40c	75.18d
	هشترود Hashtrood	0.797a	8.00a	4.08abc	0.500a	56.7c	66.45b	58.89hi
	نمین Namin	0.780abc	6.66ab	2.77def	0.213b	56.33cd	48.27cd	76.48cd
	هوراند Horand	0.803a	6.51ab	2.76def	0.220b	56.05cd	64.97b	88.17a
	کرج Karaj	0.784a	7.61a	3.38cd	0.143bc	66.15a	48.25cd	66.95e
T_1	اهر Ahar	0.645e	1.66h	2.75def	0.08bc	47.09ijkl	31.65ghi	42.96mn
	مشگین Meshkin	0.763abc	2.66efg	0.397ik	0.063cd	42.56mn	33.97fgh	46.09lm
	ماکو Maku	0.775abc	2.33efgh	0.987k	0.05de	49.57fghi	39.20e	66.40ef
	مرند Marand	0.770abc	2.00gh	1.62fgh	0.073bc	50.4fgh	28.17i	65.24efg
	هشترود Hashtrood	0.760abc	3.66def	1.58fgh	0.113bc	47.57hijk	27.95i	45.68lm
	نمین Namin	0.580f	1.47i	1.01j	0.015de	36.33o	19.75j	41.11n
	هوراند Horand	0.773abc	2.93ef	1.04j	0.079bc	48.45ghij	28.65hi	61.81gh
	کرج Karaj	0.773a	1.00i	1.10ij	0.047de	40.88n	38.33ef	62.70fgh
T_2	اهر Ahar	0.680e	3.33def	3.32cd	0.117bc	48.67ghij	31.55ghi	50.89jk
	مشگین Meshkin	0.770abc	3.30def	1.33ghi	0.14bc	44.46lm	18.38j	47.17kl
	ماکو Maku	0.76babc	3.66de	1.12hi	0.163bc	50.86fg	34.85efg	66.23ef
	مرند Marand	0.736bc	3.58de	2.49def	0.113c	46.25jkl	31.81ghi	66.92e
	هشترود Hashtrood	0.783abc	5.4bc	1.62fgh	0.127bc	49.94fgh	21.12j	47.26kl
	نمین Namin	0.683de	1.83h	2.03fg	0.063cd	45.05klm	19.20j	43.95lmn
	هوراند Horand	0.753abc	4.28cd	2.77cde	0.157bc	52.13ef	29.05hi	65.55efg
	کرج Karaj	0.733cd	3.60de	3.19cd	0.110bc	48.92ghij	22.75j	44.74lmn

در هر ستون حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

Means followed by the same letters in each column, are non significantly different (P=0.05) according to Lsmeans test.

راندمان کوانتومی فتوسیستم II و شاخص کلروفیل

پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_V/F_M) شاخص مناسبی جهت ارزیابی بازدارندگی نوری در گیاهانی است که در معرض تنش‌های محیطی مانند خشکی و گرما همراه با میزان تشعشع زیاد قرار می‌گیرند. همچنین مقدار کلروفیل به‌عنوان پارامتر متاثر تحت تنش می‌باشد. بررسی تغییرات F_V/F_M نشان می‌دهد که میزان راندمان کوانتومی فتوسیستم II، تحت تاثیر تنش خشکی کاهش یافته است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها و معنی‌دار شدن اثر متقابل اکوتیپ × تنش برای پتانسیل عملکرد کوانتوم (جدول ۱) در تیمار T_1 بیشترین کاهش F_V/F_M در جمعیت‌های اهر و نمین مشاهده گردید و سایر جمعیت‌ها اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در تیمار T_2 جمعیت هشترود بیشترین مقدار F_V/F_M را دارا بود و با جمعیت‌های

مشکین‌شهر، ماکو و هوراند اختلاف آماری معنی‌دار نداشت و کمترین مقدار این پارامتر مربوط به جمعیت‌های اهر و نمین بود. بیشترین میزان F_V/F_M در سطح شاهد مشاهده شد و با افزایش تنش خشکی از میزان آن کاسته شد. کاهش ۱۳ درصدی نسبت F_V/F_M در تیمار T_1 و ۱۰ درصدی در تیمار T_2 (جدول ۴) نشانه کاهش میزان حفاظت نوری بوده و همچنین دلیلی است بر اینکه تنش خشکی بر کارایی فتوسنتز اثر معنی‌دار گذاشته است.

جدول ٤- میزان کاهش میانگین صفات مورفیزیولوژیک اکوتیپ‌های مختلف *Ae. Triuncialis* در اثر تنش خشکی (درصد)

Table 4- Decreasing percent of traits values for studied ecotypes of *Ae. Triuncialis*

صفات	Traits	Normal	میانگین Mean		درصد تغییر صفت Change percent of trait	
			T_1	T_2	T_1	T_2
طول ریشه	Root length (cm)	22.85	30.27	24.83	-32.45	-8.65
حجم ریشه	Root volume (cm^3)	1.97	0.95	1.43	51.6	27.42
وزن خشک ریشه	Root dry weight (g)	0.32	0.20	0.22	37.58	31.8
وزن خشک بوته	Plant dry weight (g)	3.77	1.23	2.04	67.22	45.67
وزن خشک سنبله	Dry weight per spike (g)	0.24	0.06	0.12	74.67	59.66
تعداد دانه در سنبله	Number of grains per spike	7.41	1.56	3.45	78.93	73.91
ارتفاع بوته	Plant length(cm)	44.4	33.9	41.6	23.4	6.30
طول پدانکل	Peduncle length (cm)	14.5	8.70	1.60	40.00	19.80
طول سنبله	Spike length (cm)	5.400	4.200	5.02	23.40	8.56
عملکرد دانه	Grain yield	0.69	0.07	0.18	89.18	73.91
وزن صد دانه	grain 100 weight (g)	1.16	0.18	0.42	84.23	63.23
پتانسل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)	Fv/Fm (ms)	0.80	0.71	0.72	13.75	10.10
شاخص اسپد	Spad index	54.19	53.16	54.12	0.93	0.14
میزان هدایت روزنه‌ای	Stomatal conductance (mmol $m^{-2}s^{-1}$)	46.6	46.4	46.3	0.46	0.53
محتوی آب نسبی	RWC (%)	72.7	54	54.09	25.72	25.59

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار شدن اثر متقابل اکوتیپ × تنش برای شاخص کلروفیل بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در اثر تیمار تنش خشکی کاهش در شاخص کلروفیل نسبت به شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). اکوتیپ‌های ماکو و مرند بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ‌های هشترود و هوراند بیشترین میزان شاخص کلروفیل در تیمار T_1 را دارا بودند و بیشترین خسارت ناشی از تنش خشکی در اکوتیپ نمین مشاهده شد. در تیمار T_2 اکوتیپ مشکین بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ‌های ماکو و نمین کمترین میزان شاخص کلروفیل را داشتند (جدول ۳).

هدایت روزنه‌ای و محتوی نسبی آب برگ (RWC)

میزان هدایت روزنه‌ای تحت تاثیر تنش رطوبتی در تیمارهای T1 و T2 در حدود ۰/۵۰ کاهش یافت (جدول ۴). در تیمار T1 جمعیت‌های ماکو و کرج بیشترین و جمعیت نمین کمترین هدایت روزنه‌ای را دارا بودند و در تیمار T2 اکوتیپ‌های اهر، ماکو، مرند و هوراند بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشتند (جدول ۲). وقوع تنش رطوبتی موجب کاهش ۲۵ درصدی محتوی نسبی آب برگ در دو سطح تنش مورد مطالعه نسبت به شرایط بدون تنش شد (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول مقایسات میانگین اثر متقابل (جدول ۳) در محیط بدون تنش جمعیت هوراند بیشترین و جمعیت‌های مشکین‌شهر و هشترود کمترین RWC برگ را نشان دادند. در تیمار T1 اکوتیپ ماکو بیشترین میزان RWC را داشت که با اکوتیپ های مرند و کرج بدون اختلاف معنی‌دار بود. اکوتیپ نمین بدون اختلاف معنی‌دار با اکوتیپ اهر کمترین میزان RWC را در این سطح از تنش دارا بود. در

تیمار T2 اکوتیپ‌های ماکو، مرند و هوراند بیشترین و جمعیت‌های نمین و کرج کمترین میزان RWC را داشتند (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

با جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، تنش رطوبتی موجب کاهش در اکثر صفات مورفوفیزیولوژیک مورد مطالعه گردید. تنش رطوبتی بعد از گرده‌افشانی و در طول مرحله پر شدن دانه منجر به کاهش عملکرد دانه به‌وسیله اثر منفی بر فعالیت‌های فتوسنتزی به‌صورت کاهش تجمع ذخایر ساقه (کربوهیدرات‌های محلول در آب) می‌شود (Gautam *et al.*, 2011). به دلیل اینکه مواد غذایی به‌صورت محلول در آب جذب گیاه می‌شوند، بنابراین محدودیت در منابع آبی منجر به محدودیت در کلیه منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زود هنگام مرحله رویشی و شروع مرحله زایشی می‌گردد. در نتیجه، دوره‌ی رشدی، ارتفاع، طول پدانکل، طول سنبله اصلی و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد (Mitra, 2001). اکوتیپ‌هایی که دارای ارتفاع بوته بلندتری در مقایسه با سایرین بودند، میزان عملکرد دانه بیشتری نیز داشتند مانند اکوتیپ‌های هشترود، هوراند، مشکین و ماکو. ایینز و همکاران (Innes *et al.*, 1985) بیان داشتند در شرایط خشکی پایان فصل ژنوتیپ‌های پابلند، عملکرد دانه بیشتری از ژنوتیپ‌های پاکوتاه داشتند. آنها این امر را به قابلیت بیشتر ژنوتیپ‌های پابلند برای استخراج آب از خاک نسبت دادند. وزن صد دانه تحت تاثیر تنش خشکی کاهش چشمگیری (۸۴/۲۳ درصد کاهش در تیمار T_1 و ۶۳/۲۳ درصد کاهش در تیمار T_2) در کل اکوتیپ‌ها داشت. علت کاهش وزن صد دانه را چنین می‌توان توجیه کرد که قبل از اعمال تنش رطوبتی گیاه تعداد مخازن بیشتری (دانه) تولید کرده و شرایط تنش برای این تیمار تا انتهای دوره‌ی رشد ادامه داشته و با نزدیک شدن گیاه به انتهای دوره‌ی رشد شرایط تنش شدیدتر شده است، بنابراین آب کافی برای پر شدن دانه‌ها وجود نداشته و با بروز تنش نتوانستند این مخازن را به‌خوبی پر کنند در نتیجه وزن دانه‌ها به شدت کاهش پیدا نموده است. تنش رطوبتی باعث کاهش صد درصدی تعداد دانه در سنبله در مقایسه با شاهد در *Ae. searsii* و ۶۹٪ در *Ae. longissima* شد (Gautam *et al.*, 2011). اینکه سنبله‌های بلندتر پتانسیل بیشتری از نظر ایجاد تعداد سنبلچه و در نتیجه تعداد دانه‌های بیشتر دارند از اهمیت بالایی برخوردارند، می‌توان در شرایط تنش خشکی اکوتیپ‌های هشترود، هوراند و مشکین را متحمل از نظر تغییر در این صفات نامید.

اکوتیپ‌های هشترود، مرند، هوراند، البرز و مشکین توانستند در زمان خشکی جهت حفظ بقا با افزیش طول ریشه رطوبت مورد نیاز را از اعماق خاک فراهم کنند. در توجیه افزایش طول ریشه (۳۲/۴۵٪ افزایش در تیمار T_1 و ۸/۶۵٪ افزایش در تیمار T_2) در محیط‌های تحت تیمار تنش رطوبتی می‌توان بیان نمود که با ادامه تنش و قرار گرفتن ریشه در معرض کمبود آب، ریشه جذب آب را از نواحی عمیق‌تر انجام می‌دهد تا بتواند موجبات ادامه حیات را برای گیاه فراهم کند. این امر یکی از دلایل افزایش توسعه و وزن خشک ریشه‌ها و یکی از سازوکارهای تحمل به خشکی است. نتایج لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2004) نیز مبنی بر تأیید این نتایج است. تنش خشکی با آسیب رساندن به سیستم فتوسنتزی، با کاهش فتوسنتز و کلروفیل و محدود شدن اختصاصات فتوسنتزی به دانه‌ها در شرایط تنش خشکی موجب کاهش وزن آنها و در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود. طبق گزارش گاتوم و همکاران (Gautam *et al.*, 2011)، تنش خشکی موجب ۲۶٪ کاهش وزن دانه، ۴۷٪ کاهش در Fv/Fm و ۲۵٪ کاهش در شاخص کلروفیل *Ae. tauschii* شد. خشکی محیط با تاثیر بر هدایت روزنه‌ای سبب کاهش آب درون بافتی برگ‌ها می‌شود (Wang *et al.*, 1997). از طرفی احتمالاً در دسترس بودن CO_2 در کلروپلاست، که عمدتاً توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، در پاسخ به کمبود آب، به‌عنوان سیگنالی برای تنظیم متابولیکی در برگ عمل می‌کند و بسته شدن روزنه اولین دلیل کم شدن سرعت فتوسنتز در شرایط خشکی است (Flexas and Medrano, 2002). طبق گزارش پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad *et al.*, 2007)، کاهش محتوای آب نسبی برگ و بسته شدن روزنه‌ها اولین تاثیر تنش خشکی بوده که از طریق اختلال در سیستم ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود. بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی در جمعیت‌های مرند، ماکو و هوراند می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیشتر آب از طریق گسترش ریشه باشد. دیگر محققان نیز دریافتند که تنش خشکی از طریق تسریع پیری برگ و کاهش دوره پر شدن دانه، از وزن دانه می‌کاهد (Royo *et al.*, 2006). پس اکوتیپ‌های با نسبت بالای Fv/Fm و کاهش کمتر شاخص کلروفیل در شرایط تنش قادر بودند از کاهش عملکرد کمتری برخوردار باشند. به نظر می‌رسد برتری عملکرد اکوتیپ‌های هشترود، هوراند و ماکو در شرایط تنش نسبت به سایر اکوتیپ‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های مهمی چون بلند بودن طول پدانکل، طول ریشه، افزایش حجم ریشه، بالا بودن میزان درصد محتوی آب نسبی و نسبت بالای Fv/Fm باشد.

References

1. Ahmadi, A., and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal Agriculture Science 136: 257-269.

2. Baalbaki, R., Hajj-Hassan, N., and Zurayk, R. 2006. *Aegilops* species from semiarid areas of Lebanon: Variation in quantitative attributes under water stress. Crop Science 46: 799-806.
3. Damania, A. B., Hakim, S., and Moualla, M. Y. 1992. Evaluation of variation in *Triticum dicoccum* for wheat improvement in stress environments. Hereditas 116: 163-166.
4. Dulai, S., Molnar, I., Pronay, J., Csernak, A., Tarnai, R., and Molnar-Lang, M. 2006. Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and *Aegilops* species originating from dry habitats. Acta Biologica Szegediensis 50 (1-2): 11-17.
5. Flexas, L., and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plant: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. Annales Botanici Fennci 89: 183-189.
6. Gautam, P. P., Fritz Allan, K., Kirkham, M. B. K., and Gill, B. 2011. Response of *Aegilops* species to drought stress during reproductive stages of development. Fundamental for Life: Soil, Crop & Environmental Sciences. Internatinal Annual Meetings 16-19.
7. Gill, B. S., Friebe, B., Raupp, W. J., Wilson, D. L., Stan, C. T., Sears, R. G., Brown-Guedira, G. L., and Fritz, A. K. 2006. Wheat genetics resource center: the first 25 years. Advances in Agronomy 89: 73-136.
8. Gooding, M. J., Ellis, R. H., Shewry, P. R., and Schofield, J. D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of water wheat. Journal of Cereal Science 37: 295-309.
9. Innes, P., Hoogendoorn, J., and Blackwell, R. D. 1985. Effects of difference in date of early emergence and height on yield of winter Wheat. Journal of Agricultural Science 105: 543-549.
10. Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L. D., Condon, A. G., Richards, R. A., and Dolferus, R. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant Cell and Environment 33: 926-942.
11. Liu, J. X., Liao, D. Q., Oane, R., Estenor, L., Yang, X. E., Li, Z. C., and Bennett, J. 2006. Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. Field Crops Research 97: 87-100.
12. Liu, H. S., Li, F. M., and Xu, H. 2004. Deficiency of water can enhance root respiration rate of drought-sensitive but not drought-tolerance spring wheat. Agricultural water management 64 (1): 41-48.
13. Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plant. Current Science 80: 758-763.
14. Moaveni, P., and Pazoki, A. 2010. Investigation of proline changes, cytoplasmic membrane stability, yield and root length in four wheat cultivars under drought stress conditions. Plant and ecosystem 6 (21): 59-72. (in Persian).
15. Molnar, I., Gaspar, L., Sarvari, E., Dulai, S., Hoffmann, B., Molnar-Lang, M., and Galiba, G. 2004. Physiological and morphological responses to water stress in *Aegilops biuncialis* and *Triticum aestivum* genotypes with differing tolerance to drought. Functional Plant Biology 31: 1149-1159.
16. Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Qh., Siyadat, A., and Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars American Journal of Biochemistry and Biotechnology 5 (4): 162-169.
17. Pierre, C. S., Petersona, J., Rossa, A., Ohma, J., Verhoerena, M., Larsona, M., and Hoefera, B. 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. Journal of Agronomy Science 100 (2): 414-420.
18. Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., and Perrotta, C. 2006. Drought stress response in wheat: Physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. Plant Cell and Environment 29 (12): 2143-2152.
19. Riaz, R., and Chowdhry, M. A. 2003. Genetic analysis of some economic traits of wheat under drought condition. Australian Journal of Plant Science 2 (10): 790-796.
20. Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., and Villegas, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 69: 231-233.
21. Royo, C., Alvaro, F., Martos, V., Ramdani, A., Isidro, J., Villegas, D., and Garcia del Mortel, L. F. 2006. Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. Euphytica 155: 259-270.
22. Sabagh pour, S. H. 2003. Mechanism of plant tolerance. Journal of Dry and Saeson Dry 13: 21-32. (in Persian).
23. Safaee chaeekar, S., Rabiee, B., Sami zaheh, H., and Esfahani, M. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 9 (4): 315-331. (in Persian).
24. Schlemmer. M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F., and Schepers, J. S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal 97: 106-112.
25. Van Slageren, M. W. 1994. Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (jaub. and Spach) Eig (*poaceae*). Wageningen Agricultural University. Wageningen, the Netherland pp: 94-107.
26. Wang, G., Miyashita, N. T., and Tsunewaki, K. 1997. Plasmon analysis of *Triticum* (wheat) and *Aegilops*: PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCR) analyses of organellar DNAs. Proceeding of National Academy Sciences of the USA 94: 570-577.

27. Zhang, J., and Davies, W. J. 1989. Abscisic acid produced in dehydrating roots may Enable the plant to measure the water status of the soil. Plant, Cell and Environment 12 (1): 73-81.
28. Wade, L. J., Kamoshita, A., Yamauchi, A., and Azhiri-Sigari, T. 2000. Genotypic variation in response of lowland rice to drought and rewatering. I. Growth and water use. Plant Production Science 3 (2): 173-179.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 415-425

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۴۲۵-۴۱۵

Effect of Terminal Water Stress on Grain Yield and Morpho-physiological Traits of *Aegilops triuncialis* Ecotypes

Z. Taghipour[1*], R. Asghari-Zakaria[2]

Received: 29-01-2018
Accepted: 10-03-2019

Introduction

Drought stress is the most important and common environmental stress that annually bring huge damage to crops in the world and especially in Iran, which is considered as an arid and semi-arid country. Nowadays, most plants breeding plans for resistance against drought and preparing resistant species are to achieve favorable yield in arid environments and are based on recognizing morpho-physiological and biochemical traits and involved genes and transforming them to cultivars. There is a genetic diversity regarding resistance against aridity among *Aegilops* species that can be used to improve resistance against aridity in wheat during different stages of reproduction and plant growth.

Materials and Methods

This investigation was performed in green house of Agricultural Faculty in *University* of Mohaghegh Ardabili on 2011 in order to survey the effects of aridity stress and study the traits related to resistance in eight ecotypes of *Aegilops triuncialis* (ecotypes of Maku, Marand, Hashtrud, Namin, Hurand, Karaj, Meshkin and Ahar). The experiment was performed in three replications as factorial and based on completely randomized design. Different stages of irrigation including full irrigation as control, cutting of irrigation from booting (T_1), (zadoks stage 45) and from 50% spike emergence (T_2) (zadoks stage 55) to maturity were considered as water stress levels. Studied morphological traits include plant height (cm), plant dry weight (g), peduncle length (cm), spike length (cm), number of grains in spike, weight of grains per spike (g), 100 grain weight (g), spike dry weigh (g), root length and root mass. Chlorophyll content was measured by SPAD-502 machine. In order to measure *fluorescence* content of chlorophyll, OSI 30 machine of ADC Bioscietific Company and to measure stomatal conductance leaf porometer (SC-1 model) were used. Data analysis was performed by SAS ver.9.1 software and cutting was done in case of significant interactive effect. Mean comparison was done by Lsmeans test at probability level of 5%.

Results and Discussion

Water stress decreased all evaluated traits especially grain yield (89%). Water stress condition, by damaging photosynthesis system, reduced photochemical efficiency of PS II and chlorophyll index. Stomatal conductance rate reduced by 46% at booting stage and 55% at spike emergence and also decreased relative water content by 26% compared to normal circumstances. Although drought stress application in the experiment decreased grain yield in ecotypes compared to no stress conditions, some ecotypes like Hashtrud, Hurand and Maku could resist stress conditions and showed less grain yield decrease in comparison to the others. Ecotypes of Hashtrud, Marand, Meshkin could supply their necessary moisture from deep soil by increasing their root length. Ecotypes with higher ratio of Fv/Fm and less chlorophyll index decrease under stress condition could have less grain yield decrease. It seems that superiority of Hashtrud, Hurand and Maku ecotypes in stress conditions compared to other ecotypes could be due to these characteristics.

Conclusions

Terminal drought results in reduced growth period, length, peduncle length, main panicle length and also reduced grain yield. Drought stress by damaging photosynthesis system and decreased photosynthesis and chlorophyll and limiting photosynthesis allocations of grains under stress condition decreases their weight and finally their yield.

Keywords: Drought stress, Fluorescence chlorophyll, Grain yield, Stomatal conductance

1- M.Sc. Student of Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Professor, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: ztaghipour22@yahoo.com)